

**nerac.com**  
PEOPLE POWERED SEARCHING

 my account  learning center  patent cart  document ca

home

searching

patents

documents

toc journal watch

## Format Examples

### US Patent

US6024053 or 6024053

### US Design Patent

D0318249

### US Plant Patents

PP8901

### US Reissue

RE35312

### US SIR

H1523

### US Patent Applications

20020012233

### World Patents

WO04001234 or WO2004012345

### European

EP1067252

### Great Britain

GB2018332

### German

DE29980239

### Nerac Document Number (NDN)

certain NDN numbers can be used for patents

[view examples](#)



6.0 recommended  
Win98SE/2000/XP

## Patent Ordering



Enter Patent Type and Number: optional reference note




☐ Add patent to cart automatically. If you uncheck this box then you must *click on* Publication number and view abstract to Add to Cart.

4 Patent(s) in Cart

## Patent Abstract

Add to cart

GER 2002-01-17 10033343 **Kraftstoffeinspritzanlage for a combustion motor**

**INVENTOR(S)**- Rueger, Johannes-Joerg, Dr. 71665 Vaihingen DE

**INVENTOR(S)**- Newald, Josef 70469 Stuttgart DE

**INVENTOR(S)**- Schulz, Udo 71665 Vaihingen DE

**APPLICANT(S)**- Robert Bosch GmbH 70469 Stuttgart DE

**PATENT NUMBER**- 10033343/DE-A1

**PATENT APPLICATION NUMBER**- 10033343

**DATE FILED**- 2000-07-08

**DOCUMENT TYPE**- A1, DOCUMENT LAID OPEN (FIRST PUBLICATION)

**PUBLICATION DATE**- 2002-01-17

**INTERNATIONAL PATENT CLASS**- F02D04130; F02D04120; F02D04120P

**PATENT APPLICATION PRIORITY**- 10033343, A

**PRIORITY COUNTRY CODE**- DE, Germany, Ged. Rep. of

**PRIORITY DATE**- 2000-07-08

**FILING LANGUAGE**- German

**LANGUAGE**- German NDN- 203-2274-4888-3

Kraftstoffeinspritzanlage for a combustion motor, especially a diesel engine, with at least two cylinders, with what the Kraftstoffeinspritzanlage shows two Aktorelemente at least and is assigned each cylinder one Aktorelement at least each with what to the injection of fuel into the cylinder and shows the Kraftstoffeinspritzanlage an Einspritzregelung with what to the supervision of und/oder solving of a conflict when

heading for the Aktorelemente.

**EXEMPLARY CLAIMS-** 1. Fuel fuel injection system fr a combustion engine, in particular a diesel engine, by at least two cylinders, whereby the fuel fuel injection system exhibits at least two actuator elements, and whereby at least one actuator element each is assigned to each cylinder for the injection of fuel into the cylinder, thereby marked since the fuel fuel injection system exhibits an injecting regulation to berwachung and/or to the Lsen of a conflict when heading for the actuator elements. 2. Fuel fuel injection system according to requirement 1, by characterized since the actuator elements are piezoelectric elements. 3. Fuel fuel injection system according to requirement 1, by characterized since the actuator elements are single solenoid valves. 4. Fuel fuel injection system fr a combustion engine, in particular a diesel engine, with at least two cylinders, whereby the fuel fuel injection system exhibits at least two piezoelectric elements and each cylinder at least per a piezoelectric element for the injection of fuel into the cylinder in shop or unloading of the piezoelectric element is assigned, and whereby piezoelectric elements on at least side essentially directly with one another electrical connected are by it marked, since the fuel fuel injection system an injecting regulation to berwachung whether a piezoelectric element is loaded, if-or it will unload the other piezoelectric element ge is, exhibits. 5. Fuel fuel injection system fr combustion engine, in particular diesel engine, by at least two cylinders, whereby the fuel fuel injection system exhibits at least two piezoelectric elements and each cylinder at least per a piezoelectric element for the injection of fuel into the cylinder in shop or unloading of the piezoelectric element is assigned, and whereby only one tender unit is assigned to the piezoelectric elements for loading or unloading the piezoelectric element, thereby marked, since the fuel fuel injection system an

NO-DESCRIPTORS

▶ proceed to checkout

Nerac, Inc. One Technology Drive . Tolland, CT  
Phone (860) 872-7000 Fax (860) 875-1749

©1995-2003 All Rights Reserved . [Privacy Statement](#) . [Report a Problem](#)



⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 33 343 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:  
**F 02 D 41/30**

① Aktenzeichen: 100 33 343.5  
② Anmeldetag: 8. 7. 2000  
④ Offenlegungstag: 17. 1. 2002

DE 100 33 343 A 1

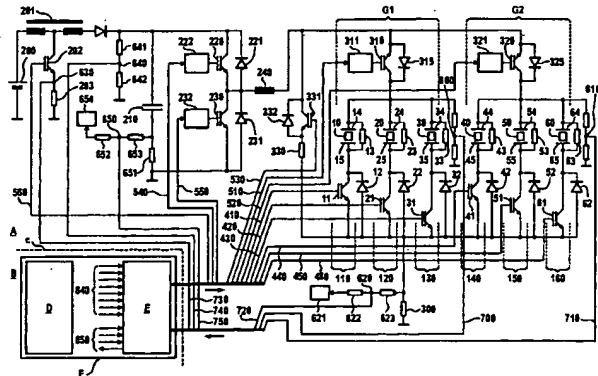
⑦ Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦ Erfinder:  
Rueger, Johannes-Jörg, Dr., 71665 Vaihingen, DE;  
Newald, Josef, 70469 Stuttgart, DE; Schulz, Udo,  
71665 Vaihingen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤ Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor

⑦ Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor, insbesondere einen Dieselmotor, mit zumindest zwei Zylindern, wobei die Kraftstoffeinspritzanlage zumindest zwei Aktorelemente aufweist und wobei jedem Zylinder zumindest je ein Aktorelement zur Einspritzung von Kraftstoff in den Zylinder zugeordnet ist und wobei die Kraftstoffeinspritzanlage eine Einspritzregelung zur Überwachung und/oder Lösen eines Konfliktes beim Ansteuern der Aktorelemente aufweist.



DE 100 33 343 A 1



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor, insbesondere einen Dieselmotor, mit zumindest zwei Zylindern, wobei die Kraftstoffeinspritzanlage zumindest zwei Aktorelemente aufweist, und wobei jedem Zylinder zumindest je ein Aktorelement zur Einspritzung von Kraftstoff in den Zylinder zugeordnet ist. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Betrieb einer solchen Kraftstoffeinspritzanlage.

[0002] Es ist Aufgabe der Erfindung, das Einspritzverhalten einer derartigen Kraftstoffeinspritzanlage zu verbessern bzw. eine derartige Kraftstoffeinspritzanlage zu vereinfachen.

[0003] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor, insbesondere einen Dieselmotor, mit zumindest zwei Zylindern gemäß Anspruch 1 sowie durch ein Verfahren gemäß Anspruch 17 gelöst. Dabei weist die Kraftstoffeinspritzanlage zumindest zwei Aktorelemente auf, wobei jedem Zylinder zumindest je ein Aktorelement zur Einspritzung von Kraftstoff in den Zylinder zugeordnet ist, und wobei die Kraftstoffeinspritzanlage eine Einspritzregelung zur Überwachung und/oder zum Lösen eines Konfliktes beim Ansteuern der Aktorelemente aufweist. Die Aktorelemente sind piezoelektrische Elemente oder Magnetventile.

[0004] Die Aufgabe wird ferner erfindungsgemäß durch eine Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor, insbesondere einen Dieselmotor, mit zumindest zwei Zylindern gemäß Anspruch 4 sowie durch ein Verfahren gemäß Anspruch 18 gelöst. Dabei weist die Kraftstoffeinspritzanlage zumindest zwei piezoelektrische Elemente auf, wobei jedem Zylinder zumindest je ein piezoelektrisches Element zur Einspritzung von Kraftstoff in den Zylinder durch Laden oder Entladen des piezoelektrischen Elementes zugeordnet ist, wobei die piezoelektrischen Elemente auf zumindest einer Seite im wesentlichen direkt miteinander elektrisch verbunden sind, und wobei die Kraftstoffeinspritzanlage eine Einspritzregelung zur Überwachung, ob ein piezoelektrisches Element geladen ist, wenn das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll, aufweist. Die beiden piezoelektrischen Elemente sind dabei vorteilhafterweise auf einer Aktorbank angeordnet.

[0005] Die Aufgabe wird weiterhin erfindungsgemäß durch eine Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor, insbesondere einen Dieselmotor, mit zumindest zwei Zylindern gelöst, wobei die Kraftstoffeinspritzanlage zumindest zwei piezoelektrische Elemente aufweist und jedem Zylinder zumindest je ein piezoelektrisches Element zur Einspritzung von Kraftstoff in den Zylinder durch Laden oder Entladen des piezoelektrischen Elementes zugeordnet ist, wobei die beiden piezoelektrischen Elemente auf einer Aktorbank angeordnet sind, und wobei die Kraftstoffeinspritzanlage eine Einspritzregelung zur Überwachung, ob ein piezoelektrisches Element geladen ist, wenn das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll, aufweist.

[0006] Die Aufgabe wird weiterhin erfindungsgemäß durch eine Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor, insbesondere einen Dieselmotor, mit zumindest zwei Zylindern gemäß Anspruch 5 sowie durch ein Verfahren gemäß Anspruch 19 gelöst. Dabei weist die Kraftstoffeinspritzanlage zumindest zwei piezoelektrische Elemente auf, wobei jedem Zylinder zumindest je ein piezoelektrisches Element zur Einspritzung von Kraftstoff in den Zylinder durch Laden oder Entladen des piezoelektrischen Elementes zugeordnet ist, wobei den piezoelektrischen Elementen eine einzige Versorgungseinheit zum Laden oder

Entladen des piezoelektrischen Elementes zugeordnet ist und wobei die Kraftstoffeinspritzanlage eine Einspritzregelung zur Überwachung einer möglichen Überschneidung eines Zeitintervalls, in dem ein piezoelektrisches Element ge- oder entladen werden soll, mit einem Zeitintervall, in dem das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll, aufweist. Die beiden piezoelektrischen Elemente sind dabei vorteilhafterweise auf unterschiedlichen Aktorbänken angeordnet. In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung überwacht die Einspritzregelung auch, ob ein piezoelektrisches Element geladen ist, wenn das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll, wenn piezoelektrische Elemente auf einer Aktorbank angeordnet sind bzw. die piezoelektrischen Elemente auf zumindest einer Seite im wesentlichen direkt miteinander elektrisch verbunden sind.

[0007] Die Aufgabe wird weiterhin erfindungsgemäß durch eine Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor, insbesondere einen Dieselmotor, mit zumindest zwei Zylindern gelöst, wobei die Kraftstoffeinspritzanlage zumindest zwei piezoelektrische Elemente aufweist und jedem Zylinder zumindest je ein piezoelektrisches Element zur Einspritzung von Kraftstoff in den Zylinder durch Laden oder Entladen des piezoelektrischen Elementes zugeordnet ist, wobei die beiden piezoelektrischen Elemente auf unterschiedlichen Aktorbänken angeordnet sind, und wobei die Kraftstoffeinspritzanlage eine Einspritzregelung zur Überwachung einer möglichen Überschneidung eines Zeitintervalls, in dem ein piezoelektrisches Element ge- oder entladen werden soll, mit einem Zeitintervall, in dem das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll, aufweist. In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung überwacht die eine Einspritzregelung auch, ob ein piezoelektrisches Element geladen ist, wenn das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll, wenn piezoelektrische Elemente auf einer Aktorbank angeordnet sind bzw. die piezoelektrischen Elemente auf zumindest einer Seite im wesentlichen direkt miteinander elektrisch verbunden sind.

[0008] In weiterhin vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung erfolgt die Einspritzung von Kraftstoff in einem Einspritzzyklus durch zumindest zwei Einspritzungen, wobei den zumindest zwei Einspritzungen unterschiedliche Prioritäten zugeordnet sind.

[0009] In weiterhin vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung erfolgt die Einspritzung von Kraftstoff durch eine Haupteinspritzung und zumindest eine der Haupteinspritzung vorhergehende Voreinspritzung, wobei mittels der Haupteinspritzung mehr Kraftstoff in den Zylinder eingespritzt wird als mit der Voreinspritzung, und wobei der Haupteinspritzung eine höhere Priorität als der Voreinspritzung zugeordnet ist.

[0010] In weiterhin vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung erfolgt die Einspritzung von Kraftstoff durch eine Haupteinspritzung und zwei der Haupteinspritzung vorhergehende Voreinspritzungen, eine frühere und eine spätere Voreinspritzung, wobei der einen Voreinspritzung eine höhere Priorität als der anderen Voreinspritzung zugeordnet ist und diese Prioritäten betriebspunktabhängig sein können.

[0011] In weiterhin vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung erfolgt die Einspritzung von Kraftstoff durch zumindest eine Haupteinspritzung und eine der Haupteinspritzung folgende Nacheinspritzung, wobei mittels der Haupteinspritzung mehr Kraftstoff in den Zylinder eingespritzt wird als mit der Nacheinspritzung, und wobei der Haupteinspritzung eine höhere Priorität als der Nacheinspritzung zugeordnet ist.

[0012] In weiterhin vorteilhafter Ausgestaltung der Erfin-



dung werden die Prioritäten der Voreinspritzungen und der Nacheinspritzung betriebspunktabhängig vergeben.

[0013] In weiterhin vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung wird die Einspritzung mit der geringeren Priorität soweit verkürzt oder verschoben, daß ein piezoelektrisches Element nicht geladen ist, wenn das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll. Dies erfolgt vorteilhafterweise nur, wenn die beiden piezoelektrischen Elemente einer Aktorbank zugeordnet sind bzw. wenn die piezoelektrischen Elemente auf zumindest einer Seite im Wesentlichen direkt miteinander elektrisch verbunden sind.

[0014] Bei einer Ausgestaltung der Aktorelemente als Magnetventile wird die Einspritzung mit der geringeren Priorität vorteilhafterweise soweit verkürzt, daß kein Strom durch ein Magnetventil fließt solange Strom durch das andere Magnetventil fließt.

[0015] Eine Verkürzung der Einspritzung mit der geringeren Priorität umfaßt auch eine Verkürzung auf 0, d. h. Streichung dieser Einspritzung, sofern dies notwendig ist.

[0016] In weiterhin vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung wird die Einspritzung mit der geringeren Priorität soweit verschoben, daß sich das Zeitintervall, in dem ein piezoelektrisches Element ge- oder entladen werden soll, nicht mit dem Zeitintervall überschneidet, in dem das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll. Dies erfolgt vorteilhafterweise nur, wenn die beiden piezoelektrischen Elemente unterschiedlichen Aktorbänken zugeordnet bzw. wenn den beiden piezoelektrischen Elementen eine einzige Versorgungseinheit zum Laden oder Entladen zugeordnet ist.

[0017] In weiterhin vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung wird die Einspritzung mit der geringeren Priorität soweit verzögert, daß sich das Zeitintervall, in dem ein piezoelektrisches Element ge- oder entladen werden soll, nicht mit dem Zeitintervall überschneidet, in dem das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll. Dies erfolgt vorteilhafterweise nur, wenn die beiden piezoelektrischen Elemente Teil unterschiedlicher Aktorbänke sind bzw. wenn den beiden piezoelektrischen Elementen eine einzige Versorgungseinheit zum Laden oder Entladen zugeordnet ist.

[0018] In weiterhin vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung wird die Einspritzung mit der geringeren Priorität soweit verkürzt, daß sich das Zeitintervall, in dem ein piezoelektrisches Element ge- oder entladen werden soll, nicht mit dem Zeitintervall überschneidet, in dem das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll. Dies erfolgt vorteilhafterweise nur, wenn die beiden piezoelektrischen Elemente Teil unterschiedlicher Aktorbänke sind bzw. wenn den beiden piezoelektrischen Elementen eine einzige Versorgungseinheit zum Laden oder Entladen zugeordnet ist.

[0019] In weiterhin vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung wird die frühere Voreinspritzung um die gleiche Zeit verzögert wie die spätere Voreinspritzung.

[0020] Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus nachfolgender Beschreibung von Ausführungsbeispielen. Im Einzelnen zeigen:

[0021] Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Kraftstoffeinspritzanlage

[0022] Fig. 2 eine Verschaltung piezoelektrischer Elemente

[0023] Fig. 3A das Laden eines piezoelektrischen Elementes

[0024] Fig. 3B das Laden eines piezoelektrischen Elementes

[0025] Fig. 3C das Entladen eines piezoelektrischen Elementes

[0026] Fig. 3D das Entladen eines piezoelektrischen Elementes

[0027] Fig. 4 einen Ansteuerungs-IC

[0028] Fig. 5 den Spannungsverlauf über einem piezoelektrischen Element

[0029] Fig. 6 den Stromfluß durch ein piezoelektrisches Element

[0030] Fig. 7 den Stromfluß durch ein Magnetventil

[0031] Fig. 8 den Stromfluß durch ein Magnetventil

[0032] Fig. 9 Bereiche möglicher Anfänge einer Einspritzung mit angehängter maximal üblicher Einspritzdauer

[0033] Fig. 10 einen Ablaufplan für Konfliktmanagement

[0034] Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Kraftstoffeinspritzanlage mit einem piezoelektrischen Element 10 als Aktor. Mit Bezug auf Fig. 1 erfolgt eine elektrische Ansteuerung des piezoelektrischen Elements 10 zur Ausdehnung und Kontraktion bei einer gegebenen (Ansteuer) Spannung U. Das piezoelektrische Element 10 ist mit einem Kolben 5 gekoppelt. Im ausgedehnten Zustand bewirkt das piezoelektrische Element 10, daß der Kolben 5 in einen Hydraulikadapter 6 hineinragt, der eine Hydraulikflüssigkeit, beispielsweise Kraftstoff enthält. Infolge der Ausdehnung des piezoelektrischen Elements 10 wird ein (doppeltwirkendes) Steuerventil 2 hydraulisch von dem Hydraulikadapter 6 weggedrückt, und aus einer ersten geschlossenen Stellung 7 wegbewegt. Die Kombination aus dem (doppeltwirkenden) Steuerventil 2 und einer Hohlbohrung 8 wird häufig als doppeltwirkendes Doppelsitzventil bezeichnet. Das Steuerventil 2 ist in seiner zweiten geschlossenen Stellung 9, wenn das piezoelektrische Element 10 vollständig ausgedehnt ist. Letztere Stellung des Steuerventils 2 ist in Fig. 1 schematisch mit Phantomlinien dargestellt.

[0035] Die Kraftstoffeinspritzanlage umfaßt eine Einspritznadel 4, die eine Einspritzung von Kraftstoff aus einer Kraftstoffdruckleitung 18 in den (nicht dargestellten) Zylinder ermöglicht. Bei nichterregtem bzw. vollständig ausgedehntem piezoelektrischen Element 10, ruht das Steuerventil 2 jeweils in seiner ersten geschlossenen Stellung 7 bzw. in seiner zweiten geschlossenen Stellung 9. In beiden Fällen wird die Einspritznadel 4 durch den Hydraulikleistendruck  $p_{\text{rail}}$  in der Kraftstoffleitung 18 in einer geschlossenen Stellung gehalten. Somit tritt das Kraftstoffgemisch nicht in den (nicht dargestellten) Zylinder ein. Umgekehrt kommt es in der Kraftstoffdruckleitung 18 zu einem Druckabfall, wenn das piezoelektrische Element 10 so erregt wird, daß sich das doppeltwirkende Steuerventil 2 bezüglich der Hohlbohrung 8 in der sogenannten Mittelstellung befindet. Der Druckabfall bewirkt in der Kraftstoffdruckleitung 18 ein Druckgefälle zwischen dem oberen Ende und dem unteren Ende der Einspritznadel 4, so daß die Einspritznadel 4 sich hebt und ein Einspritzen von Kraftstoff in den (nicht dargestellten) Zylinder ermöglicht.

[0036] Fig. 2 zeigt piezoelektrische Elemente 10, 20, 30, 40, 50, 60 sowie Mittel zu ihrer Ansteuerung. Dabei bezeichnet A einen Bereich in detaillierter Darstellung sowie B einen Bereich in undetaillierter Darstellung, deren Trennung mit einer gestrichelten Linie c angedeutet ist. Der detailliert dargestellte Bereich A umfaßt eine Schaltung zum Laden und Entladen der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60. In dem betrachteten Beispiel handelt es sich bei den piezoelektrischen Elementen 10, 20, 30, 40, 50 und 60 um Aktoren in Kraftstoffeinspritzventilen (insbesondere in sogenannten "Common Rail Injektoren") eines Verbrennungsmotors. In der beschriebenen Ausführungsform werden zur unabhängigen Steuerung von sechs Zylindern innerhalb eines Verbrennungsmotors sechs piezoelektrische Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60 verwendet; für beliebige



andere Zwecke könnte jedoch eine beliebige andere Anzahl piezoelektrischer Elemente geeignet sein.

[0037] Der undetailliert dargestellte Bereich B umfaßt eine Einspritzregelung F mit einem Steuergerät D und einen Ansteuerungs-IC E, die der Steuerung der Elemente innerhalb des detailliert dargestellten Bereichs A dient. Dem Ansteuerungs-IC E werden verschiedene Meßwerte von Spannungen und Strömen aus der gesamten restlichen Ansteuerungsschaltung des piezoelektrischen Elements zugeführt. Erfindungsgemäß sind der Steuerrechner D und der Ansteuerungs-IC E zur Regelung der Ansteuerspannungen sowie der Ansteuerzeiten für das piezoelektrische Element ausgebildet. Der Steuerrechner D und/oder der Ansteuerungs-IC E sind ebenfalls zur Überwachung verschiedener Spannungen und Ströme der gesamten Ansteuerungsschaltung des piezoelektrischen Elements ausgebildet.

[0038] In der nachfolgenden Beschreibung werden zunächst die einzelnen Elemente innerhalb des detailliert dargestellten Bereichs A eingeführt. Es folgt eine allgemeine Beschreibung der Vorgänge des Ladens und Entladens der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60. Schließlich wird detailliert beschrieben, wie beide Vorgänge durch den Steuerrechner D und den Ansteuerungs-IC E gesteuert und überwacht werden.

[0039] Die piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60 sind in eine erste Gruppe G1 und eine zweite Gruppe G2 aufgeteilt, die jeweils drei piezoelektrische Elemente umfassen (d. h., piezoelektrische Elemente 10, 20 und 30 in der ersten Gruppe G1 bzw. piezoelektrische Elemente 40, 50 und 60 in der zweiten Gruppe G2). Die Gruppen G1 und G2 sind Bestandteile parallelgeschalteter Schaltungsteile. Mit den Gruppenwahlschaltern 310, 320 ist festlegbar, welche der Gruppen G1, G2 der piezoelektrischen Elemente 10, 20 und 30 bzw. 40, 50 und 60 jeweils mit Hilfe einer gemeinsamen Lade- und Entladeeinrichtung entladen werden (für Ladevorgänge sind die Gruppenwahlschalter 310, 320, wie nachstehend noch näher beschrieben, jedoch ohne Bedeutung). Die piezoelektrischen Elemente 10, 20 und 30 der ersten Gruppe G1 sind auf einer Aktorbank und die piezoelektrischen Elemente 40, 50 und 60 in der zweiten Gruppe G2 sind auf einer weiteren Aktorbank angeordnet. Als Aktorbank wird dabei ein Block bezeichnet, in dem zwei oder mehr Aktorelemente, insbesondere piezoelektrische Elemente, fest abgeordnet, z. B. vergossen, sind.

[0040] Die Gruppenwahlschalter 310, 320 sind zwischen einer Spule 240 und den jeweiligen Gruppen G1 und G2 angeordnet (deren spulenseitigen Anschlüssen) und sind als Transistoren realisiert. Es sind Treiber 311, 321 implementiert, die von dem Ansteuerungs-IC E empfangene Steuersignale in Spannungen umformen, die nach Bedarf zum Schließen und Öffnen der Schalter wählbar sind.

[0041] Parallel zu den Gruppenwahlschaltern 310, 320 sind (als Gruppenwahldioden bezeichnete) Dioden 315 bzw. 325 vorgesehen. Wenn die Gruppenwahlschalter 310, 320 als MOSFETs bzw. IGBTs ausgeführt sind, können beispielsweise diese Gruppenwahldioden 315 und 325 durch die parasitären Dioden selbst gebildet sein. Während Ladevorgängen werden die Gruppenwahlschalter 310, 320 von den Dioden 315, 325 überbrückt. Die Funktionalität der Gruppenwahlschalter 310, 320 reduziert sich daher auf die Auswahl einer Gruppe G1, G2 der piezoelektrischen Elemente 10, 20 und 30 bzw. 40, 50 und 60 lediglich für einen Entladevorgang.

[0042] Innerhalb der Gruppen G1 bzw. G2 sind die piezoelektrischen Elemente 10, 20 und 30 bzw. 40, 50 und 60 jeweils als Bestandteile der parallelgeschalteten Piezozweige 110, 120 und 130 (Gruppe G1) und 140, 150 und 160 (Gruppe G2) angeordnet. Jeder Piezozweig umfaßt eine Se-

rienschaltung bestehend aus einer ersten Parallelschaltung mit einem piezoelektrischen Element 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60, und einem (als Zweigwiderstand bezeichneten) Widerstand 13, 23, 33, 43, 53 bzw. 63 sowie einer zweiten Parallelschaltung mit einem als Transistor 11, 21, 31, 41, 51 bzw. 61 ausgeführten (als Zweigwahlschalter bezeichneten) Wahlschalter und einer (als Zweigdioden bezeichneten) Diode 12, 22, 32, 42, 52 bzw. 62).

[0043] Die Zweigwiderstände 13, 23, 33, 43, 53 bzw. 63 bewirken, daß das jeweils entsprechende piezoelektrische Element 10, 20, 30; 40, 50 bzw. 60 sich während und nach einem Ladevorgang kontinuierlich entlädt, da sie jeweils beide Anschlüsse der kapazitiven piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60 miteinander verbinden. Die Zweigwiderstände 13, 23, 33, 43, 53 bzw. 63 haben jedoch eine ausreichende Größe, um diesen Vorgang gegenüber den gesteuerten Lade- und Entladevorgängen langsam zu gestalten, wie nachstehend beschrieben. Daher ist die Ladung eines beliebigen piezoelektrischen Elements 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60 innerhalb einer relevanten Zeit nach einem Ladevorgang als unveränderlich zu betrachten.

[0044] Die Zweigwahlschalter/Zweigdiodenpaare in den einzelnen Piezozweigen 110, 120, 130, 140, 150 bzw. 160, d. h., Wahlschalter 11 und Diode 12 in Piezozweig 110, Wahlschalter 21 und Diode 22 in Piezozweig 120 usw., sind realisierbar als elektronische Schalter (d. h. Transistoren) mit parasitären Dioden, beispielsweise MOSFETs bzw. IGBTs (wie vorstehend für die den Gruppenwahlschalter/Diodenpaare 310 und 315 bzw. 320 und 325 angegeben).

[0045] Mittels der Zweigwahlschalter 11, 21, 31, 41, 51 bzw. 61 ist festlegbar, welche der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60 jeweils mit Hilfe einer gemeinsamen Lade- und Entladeeinrichtung geladen werden: Geladen werden jeweils all diejenigen piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60, deren Zweigwahlschalter 11, 21, 31, 41, 51 bzw. 61 während des nachfolgend beschriebenen Ladevorgangs geschlossen sind. Gewöhnlich ist immer nur einer der Zweigwahlschalter geschlossen.

[0046] Die Zweigdioden 12, 22, 32, 42, 52 und 62 dienen der Überbrückung der Zweigwahlschalter 11, 21, 31, 41, 51 bzw. 61 während Entladevorgängen. Daher kann in dem betrachteten Beispiel für Ladevorgänge jedes einzelne piezoelektrische Element ausgewählt werden, während für Entladevorgänge entweder die erste Gruppe G1 oder die zweite Gruppe G2 der piezoelektrischen Elemente 10, 20 und 30 bzw. 40, 50 und 60, bzw. beide ausgewählt werden müssen.

[0047] Zurückkommend auf die piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60 selbst, können die Zweigwahlpiezoanschlüsse 15, 25, 35, 45, 55 bzw. 65 entweder mit Hilfe der Zweigwahlschalter 11, 21, 31, 41, 51 bzw. 61 oder über die entsprechenden Dioden 12, 22, 32, 42, 52 bzw. 62 sowie in beiden Fällen zusätzlich über Widerstand 300 an Masse gelegt werden.

[0048] Mittels des Widerstands 300 werden die während des Ladens und Entladens der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60 zwischen den Zweigwahlpiezoanschlüssen 15, 25, 35, 45, 55 bzw. 65 und Masse fließenden Ströme gemessen. Eine Kenntnis dieser Ströme ermöglicht ein gesteuertes Laden und Entladen der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60.

[0049] Insbesondere durch Schließen und Öffnen des Ladeschalter 220 bzw. Entladeschalters 230 in Abhängigkeit des Betrags der Ströme, ist es möglich, den Ladestrom bzw. Entladestrom auf vorgegebene Mittelwerte einzustellen und/oder zu verhindern, daß sie vorgegebene Maximalwerte und/oder Minimalwerte überschreiten bzw. unterschreiten.

[0050] In dem betrachteten Beispiel, ist für die Messung selbst noch eine Spannungsquelle 621 erforderlich, die eine



Spannung von beispielsweise 5 V DC liefert, sowie ein Spannungsteiler in Form zweier Widerstände 622 und 623. Damit soll der Ansteuerungs-IC E (der die Messungen durchführt) vor negative Spannungen geschützt werden, die andernfalls an Meßpunkt 620 auftreten könnten, und die mit dem Ansteuerungs-IC E nicht beherrschbar sind: Derartige negative Spannungen werden durch Addition mit einer von der genannten Spannungsquelle 621 und den Spannungsteiler-Widerständen 622 und 623 gelieferten positiven Spannungsanordnung verändert.

[0051] Der andere Anschluß des jeweiligen piezoelektrischen Elements 10, 20, 30, 40, 50 und 60, d. h. die jeweilige Gruppenwahlpiezoanschluß 14, 24, 34, 44, 54 bzw. 64, kann über den Gruppenwahlschalter 310 bzw. 320 oder über die Gruppenwahldiode 315 bzw. 325 sowie über eine Spule 240 und eine Parallelschaltung bestehend aus einem Ladeschalter 220 und einer Ladediode 221 an den Pluspol einer Spannungsquelle angeschlossen werden, sowie alternativ bzw. zusätzlich über den Gruppenwahlschalter 310 bzw. 320 oder über die Diode 315 bzw. 325 sowie über die Spule 240 und eine Parallelschaltung bestehend aus einem Entladeschalter 230 und einer Entladediode 231 an Masse gelegt werden. Ladeschalter 220 und Entladeschalter 230 sind beispielsweise als Transistoren realisiert, die über Treiber 222 bzw. 232 angesteuert werden.

[0052] Die Spannungsquelle umfaßt einen Kondensator 210. Der Kondensator 210 wird von einer Batterie 200 (beispielsweise einer Kraftfahrzeugbatterie) und einem nachgeschalteten Gleichspannungswandler 201 geladen. Der Gleichspannungswandler 201 formt die Batteriespannung (beispielsweise 12 V) in im wesentlichen beliebige andere Gleichspannungen (beispielsweise 250 V) um, und lädt den Kondensator 210 auf diese Spannung auf. Die Steuerung des Gleichspannungswandlers 201 erfolgt über den Transistorschalter 202 und den Widerstand 203, der der Messung von am Messpunkt 630 abgegriffenen Strömen dient.

[0053] Zum Zwecke der Gegenkontrolle wird durch den Ansteuerungs-IC E sowie durch die Widerstände 651, 652 und 653 und beispielsweise eine 5 V Gleichspannungsquelle 654 eine weitere Strommessung am Meßpunkt 650 ermöglicht; des weiteren ist durch den Ansteuerungs-IC E sowie durch die spannungsteilenden Widerstände 641 und 642 eine Spannungsmessung am Meßpunkt 640 möglich.

[0054] Ein (als Totalentladungswiderstand bezeichneter) Widerstand 330, ein (als Stoppschalter bezeichneter) Schalter 331 sowie eine (als Totalentladungsdiode bezeichnete) Diode 332 dienen schließlich der Entladung der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60 (falls sie außerhalb des Normalbetreibers, wie nachstehend beschrieben, nicht durch den "normalen" Entladevorgang entladen werden). Der Stoppschalter 331 wird vorzugsweise nach "normalen" Entladevorgängen (zyklisches Entladen über Entladeschalter 230) geschlossen und legt dadurch die piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60 über die Widerstände 330 und 300 an Masse. Somit werden jegliche, eventuell in den piezoelektrischen Elementen 10, 20, 30, 40, 50 und 60 verbliebene Restspannungen beseitigt. Die Totalentladungsdiode 332 verhindert ein Auftreten von negativen Spannungen an den piezoelektrischen Elementen 10, 20, 30, 40, 50 und 60, die unter Umständen durch die negativen Spannungen beschädigt werden könnten.

[0055] Das Laden und Entladen aller piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60, bzw. eines bestimmten piezoelektrischen Elements 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60, erfolgt mit Hilfe einer einzigen (allen Gruppen und ihren piezoelektrischen Elementen gemeinsamen) Lade- und Entladeeinrichtung. In dem betrachteten Beispiel umfaßt die gemeinsame Lade- und Entladeeinrichtung die Batterie 200,

den Gleichspannungswandler 201, den Kondensator 210, den Ladeschalter 220 und den Entladeschalter 230, Ladediode 221 und Entladediode 231 sowie die Spule 240.

[0056] Das Laden und Entladen eines jeden piezoelektrischen Elements erfolgt auf die gleiche Art und Weise und wird nachfolgend unter Bezugnahme auf lediglich das erste piezoelektrische Element 10 erläutert.

[0057] Die während der Lade- und Entladevorgänge auftretenden Zustände werden mit Bezug auf die Fig. 3A bis 3D erläutert, von denen die Fig. 3A und 3B das Laden des piezoelektrischen Elements 10, sowie die Fig. 3C und 3D das Entladen des piezoelektrischen Elements 10 veranschaulichen.

[0058] Die Steuerung der Auswahl eines oder mehrerer zu ladender bzw. zu entladender piezoelektrischer Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60, der im folgenden beschriebene Ladevorgang sowie der Entladevorgang erfolgt durch den Ansteuerungs-IC E und das Steuergerät D durch Öffnen bzw. Schließen eines oder mehrerer der oben eingeführten Schalter 11, 21, 31, 41, 51, 61; 310, 320; 220, 230 und 331. Die Wechselwirkungen zwischen den Elementen innerhalb des detailliert dargestellten Bereichs A einerseits sowie des Ansteuerungs-IC E und des Steuerrechners D andererseits wird nachfolgend noch näher erläutert.

[0059] In bezug auf den Ladevorgang, muß zunächst ein aufzuladendes piezoelektrisches Element 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60 ausgewählt werden. Um lediglich das erste piezoelektrische Element 10 zu laden, wird der Zweigwahlschalter 11 des ersten Zweiges 110 geschlossen, während alle übrigen Zweigwahlschalter 21, 31, 41, 51, und 61 geöffnet bleiben. Um ausschließlich ein beliebiges anderes piezoelektrisches Element 20, 30, 40, 50, 60 zu laden, bzw. um mehrere gleichzeitig zu laden, würde dessen/deren Auswahl durch Schließen der entsprechenden Zweigwahlschalter 21, 31, 41, 51, und/oder 61 erfolgen.

[0060] Sodann kann der Ladevorgang selbst erfolgen: Innerhalb des betrachteten Beispiels ist für den Ladevorgang im allgemeinen eine positive Potentialdifferenz zwischen dem Kondensator 210 und Gruppenwahlpiezoanschluß 14 des ersten piezoelektrischen Elements 10 erforderlich. Solange jedoch Ladeschalter 220 und Entladeschalter 230 geöffnet sind, erfolgt kein Laden bzw. Entladen des piezoelektrischen Elements 10. In diesem Zustand befindet sich die in Fig. 2 abgebildete Schaltung in einem stationären Zustand, d. h. das piezoelektrische Element 10 behält seinen Ladungszustand im wesentlichen unverändert bei, wobei keine Ströme fließen.

[0061] Zum Laden des ersten piezoelektrischen Elements 10 wird Schalter 220 geschlossen. Theoretisch könnte das erste piezoelektrische Element 10 allein dadurch geladen werden. Dies würde jedoch zu großen Strömen führen, die die betreffenden Elemente beschädigen könnten. Daher werden die auftretenden Ströme am Meßpunkt 620 gemessen und Schalter 220 wird wieder geöffnet sobald die erfaßten Ströme einen bestimmten Grenzwert überschreiten. Um auf dem ersten piezoelektrischen Element 10 eine beliebige Ladung zu erreichen, wird daher Ladeschalter 220 wiederholt geschlossen und geöffnet, während Entladeschalter 230 geöffnet bleibt.

[0062] Bei näherer Betrachtung ergeben sich bei geschlossenem Ladeschalter 220 die in Fig. 3A dargestellten Verhältnisse, d. h. es entsteht eine geschlossene Schaltung umfassend eine Reihenschaltung bestehend aus dem piezoelektrischen Element 10, Kondensator 210 und der Spule 240, wobei in der Schaltung ein Strom  $i_{LE}(t)$  fließt, wie in Fig. 3A durch Pfeile angedeutet. Aufgrund dieses Stromflusses werden sowohl dem Gruppenwahlpiezoanschluß 14 des ersten piezoelektrischen Elements 10 positive Ladungen zugeführt



als auch in der Spule 240 Energie gespeichert.

[0063] Wenn der Ladeschalter 220 kurz (beispielsweise einige  $\mu$ s) nach dem Schließen öffnet, ergeben sich die in Fig. 3B dargestellten Verhältnisse: es entsteht eine geschlossene Schaltung umfassend eine Reihenschaltung bestehend aus dem piezoelektrischen Element 10, Entladediode 231 und Spule 240, wobei in der Schaltung ein Strom  $i_{LA}(t)$  fließt, wie in Fig. 3B durch Pfeile angedeutet. Aufgrund dieses Stromflusses fließt in der Spule 240 gespeicherte Energie in das piezoelektrische Element 10. Entsprechend der Energiezufuhr an das piezoelektrische Element 10, erhöht sich die in diesem auftretende Spannung und vergrößern sich dessen Außenabmessungen. Bei erfolgter Energieübertragung von der Spule 240 an das piezoelektrische Element 10, ist der in Fig. 2 dargestellte und bereits beschriebene stationäre Zustand der Schaltung wieder erreicht.

[0064] Zu diesem Zeitpunkt bzw. früher oder später (je nach gewünschtem Zeitprofil des Ladevorgangs), wird Ladeschalter 220 erneut geschlossen und wieder geöffnet, so daß die vorstehend beschriebenen Vorgänge erneut ablaufen. Aufgrund des erneuten Schließens und erneuten Öffnens des Ladeschalters 220 erhöht sich die in dem piezoelektrischen Element 10 gespeicherte Energie (die in dem piezoelektrischen Element 10 bereits gespeicherte Energie und die neu zugeführte Energie summieren sich), und die an dem piezoelektrischen Element 10 auftretenden Spannung erhöht sich und dessen Außenabmessungen vergrößern sich entsprechend.

[0065] Werden das oben erwähnte Schließen und Öffnen des Ladeschalters 220 vielfach wiederholt, so erfolgt die Erhöhung der an dem piezoelektrischen Element 10 auftretenden Spannung sowie die Ausdehnung des piezoelektrischen Elements 10 stufenweise.

[0066] Wenn Ladeschalter 220 eine vorgegebene Anzahl von Malen geschlossen und geöffnet wurde und/oder das piezoelektrische Element 10 den gewünschten Ladezustand erreicht hat, wird das Laden des piezoelektrischen Elements durch Offenlassen des Ladeschalters 220 beendet.

[0067] In bezug auf den Entladevorgang, werden in dem betrachteten Beispiel die piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60 in Gruppen (G1 und/oder G2) wie nachfolgend beschrieben entladen:

Zunächst werden der Gruppenwahlschalter 310 und/oder 320 der Gruppe G1 und/oder G2, deren piezoelektrische Elemente zu entladen sind, geschlossen (die Zweigwahlschalter 11, 21, 31, 41, 51, 61 haben keinen Einfluß auf die Auswahl der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50, 60 für den Entladevorgang, da sie in diesem Fall durch die Dioden 12, 22, 32, 42, 52 und 62 überbrückt werden). Um das piezoelektrische Element 10 als Teil der ersten Gruppe G1 zu entladen, wird daher der erste Gruppenwahlschalter 310 geschlossen.

[0068] Wenn der Entladeschalter 230 geschlossen ist, ergeben sich die in Fig. 3C dargestellten Verhältnisse: es entsteht eine geschlossene Schaltung umfassend eine Reihenschaltung bestehend aus dem piezoelektrischen Element 10 und der Spule 240, wobei in der Schaltung ein Strom  $i_{EE}(t)$  fließt, wie in Fig. 3C durch Pfeile angedeutet. Aufgrund dieses Stromflusses wird die in dem piezoelektrischen Element gespeicherte Energie (ein Teil davon) in die Spule 240 übertragen. Entsprechend der Energieübertragung von dem piezoelektrischen Element 10 zur Spule 240, sinkt die an dem piezoelektrischen Element 10 auftretende Spannung und verringern sich dessen Außenabmessungen.

[0069] Wenn der Entladeschalter 230 kurz (beispielsweise, einige  $\mu$ s) nach dem Schließen öffnet, ergeben sich die in Fig. 3D dargestellten Verhältnisse: es entsteht eine geschlossene Schaltung umfassend eine Reihenschaltung be-

stehend aus dem piezoelektrischen Element 10, Kondensator 210, Ladediode 221 und der Spule 240, wobei in der Schaltung ein Strom  $i_{EA}(t)$  fließt, wie in Fig. 3D durch Pfeile angedeutet. Aufgrund dieses Stromflusses wird in der Spule 240 gespeicherte Energie in den Kondensator 210 rückgeführt. Bei erfolgter Energieübertragung von der Spule 240 in den Kondensator 210, ist der in Fig. 2 dargestellte und bereits beschriebene stationäre Zustand der Schaltung wieder erreicht.

[0070] Zu diesem Zeitpunkt bzw. früher oder später (je nach gewünschtem Zeitprofil des Entladevorgangs), wird Entladeschalter 230 erneut geschlossen und wieder geöffnet, so daß die vorstehend beschriebenen Vorgänge erneut ablaufen. Aufgrund des erneuten Schließens und erneuten Öffnens des Entladeschalters 230 nimmt die in dem piezoelektrischen Element 10 gespeicherte Energie weiter ab, und die an dem piezoelektrischen Element auftretenden Spannung und dessen Außenabmessungen nehmen ebenfalls entsprechend ab.

[0071] Werden das oben erwähnte Schließen und Öffnen des Entladeschalters 230 vielfach wiederholt, so erfolgt die Abnahme der an dem piezoelektrischen Element 10 auftretenden Spannung sowie der Ausdehnung des piezoelektrischen Elements 10 stufenweise.

[0072] Wenn Entladeschalter 230 eine vorgegebene Anzahl von Malen geschlossen und geöffnet wurde und/oder das piezoelektrische Element den gewünschten Ladezustand erreicht hat, wird das Entladen des piezoelektrischen Elements durch Offenlassen des Entladeschalters 230 beendet.

[0073] Die Wechselwirkung zwischen dem Ansteuerungs-IC E und dem Steuerrechner D einerseits sowie den Elementen innerhalb des detailliert dargestellten Bereichs A andererseits erfolgt mit Hilfe von Steuersignalen, die über Zweigwahlsteuerleitungen 410, 420, 430, 440, 450, 460, Gruppenwahlsteuerleitungen 510, 520, Stoppschaltersteuerleitung 530, Ladeschaltersteuerleitung 540 und Entladeschaltersteuerleitung 550 sowie Steuerleitung 560 Elementen innerhalb des detailliert dargestellten Bereichs A von dem Ansteuerungs-IC E zugeführt werden. Andererseits werden an den Meßpunkten 600, 610, 620, 630, 640, 650 innerhalb des detailliert dargestellten Bereichs A Sensorsignale erfaßt, die dem Ansteuerungs-IC E über die Sensorleitungen 700, 710, 720, 730, 740, 750 zugeführt werden.

[0074] Zur Auswahl der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60 für die Ausführung von Lade- bzw. Entladevorgängen einzelner oder mehrerer piezoelektrischer Elemente 10, 20, 30, 40, 50, 60 durch Öffnen und Schließen der entsprechenden Schalter wie vorstehend beschrieben, werden an die Transistorbasen mittels der Steuerleitungen Spannungen angelegt bzw. nicht angelegt. Mittels der Sensorsignale erfolgt insbesondere eine Bestimmung der sich ergebenden Spannung der piezoelektrischen Elemente 10, 20 und 30, bzw. 40, 50 und 60 anhand der Meßpunkte 600 bzw. 610 sowie der Lade- und Entladeströme anhand des Meßpunkts 620.

[0075] In Fig. 4 sind einige der in dem Ansteuerungs-IC E enthaltenen Bauelemente angegeben: Eine Logik-Schaltung 800, Speicher 810, Digital-Analog-Umsetzerbaustein 820 sowie Komparatorbaustein 830. Ferner ist angegeben, daß der (für Steuersignale verwendete) schnelle Parallelbus 840 mit der Logik-Schaltung 800 des Ansteuerungs-IC E verbunden ist, während der langsamere serielle Bus 850 mit dem Speicher 810 verbunden ist. Die logische Schaltung 800 ist mit dem Speicher 810, mit dem Komparatorbaustein 830 sowie mit den Signalleitungen 410, 420, 430, 440, 450 und 460; 510 und 520; 530, 540, 550 und 560 verbunden. Der Speicher 810 ist mit der logischen Schaltung 800 sowie mit dem Digital-Analog-Umsetzerbaustein 820 verbunden.





Des weiteren ist der Digital-Analog-Umsetzerbaustein **820** mit dem Komparatorbaustein **830** verbunden. Darüber hinaus ist der Komparatorbaustein **830** mit den Sensorleitungen **700** und **710**, **720**, **730**, **740** und **750** und – wie bereits erwähnt – mit der Logik-Schaltung **800** verbunden.

[0076] Fig. 5 zeigt die am piezoelektrischen Element **10** anliegende Spannung  $u$  über die Zeit  $t$  sowie den in das piezoelektrische Element **10** fließenden Strom  $i$  über die Zeit  $t$ . Während eine Spannung  $U_0$  an dem piezoelektrischen Element **10** anliegt, befindet sich das Steuerventil **2** in der ersten geschlossenen Position **7**. Durch einen Ladestrom  $i_L$  in das piezoelektrische Element **10** wird das piezoelektrische Element auf eine Spannung  $U_2$  geladen. Diese Spannung bewirkt, daß sich das Steuerventil **2** in eine mittlere Position zwischen der ersten geschlossenen Position **7** und der zweiten geschlossenen Position **9** bewegt. Dadurch wird die Einspritznadel **4** nach oben bewegt und Kraftstoff in den Zylinder eingespritzt. Durch weiteres Laden des piezoelektrischen Elements **10** mit dem Ladestrom  $i_L$  wird das piezoelektrische Element **10** auf eine Spannung  $U_3$  geladen. Dadurch wird das Ventil **3** in die zweite geschlossene Position **9** bewegt. Dadurch wird die Einspritznadel **4** nach unten bewegt und die Einspritzung von Kraftstoff in den Zylinder beendet. Durch Entladen des piezoelektrischen Elementes **10** mittels eines Entladestroms  $i_E$  wird das piezoelektrische Element **10** auf eine Spannung  $U_1$  entladen. Dadurch wird das Steuerventil **2** von der zweiten geschlossenen Position **9** in die Mittelposition zwischen der ersten geschlossenen Position **7** und der zweiten geschlossenen Position **9** bewegt. Dadurch wird die Einspritznadel **4** nach oben bewegt und Kraftstoff in den Zylinder eingespritzt. Durch weiteres Entladen des piezoelektrischen Elementes **10** mit dem Entladestrom  $i_E$  auf die Spannung  $U_0$  wird das Steuerventil **2** in die erste geschlossene Position **7** bewegt. Dadurch bewegt sich die Einspritznadel **4** nach unten und die Einspritzung von Kraftstoff in den Zylinder wird beendet. Der dargestellte Einspritzzyklus umfaßt zwei Einspritzungen, eine Voreinspritzung **VE** und eine Haupteinspritzung **HE**. Es kann z. B. auch vorgesehen werden, daß ein Einspritzzyklus vier Einspritzungen umfaßt, zwei Voreinspritzungen **VE1** und **VE2**, eine Haupteinspritzung **HE** und eine Nacheinspritzung **NE**. In diesem Fall werden die Spannungen  $U_1$ ,  $U_2$  und  $U_3$  beispielsweise zweimal pro Einspritzzyklus erreicht. Alternativ dazu ist für die zusätzliche Einspritzung ein abweichender Spannungsverlauf möglich.

[0077] Fig. 6, 7, und 8 zeigen die Unterschiede zwischen dem Stromfluß in ein piezoelektrisches Element und dem Stromfluß durch ein Magnetventil. Dabei zeigt Fig. 6 den Stromfluß für ein Einspritzsystem mit einer offenen und (nur) einer geschlossenen Stellung, das mit einem piezoelektrischen Element angesteuert wird. Dabei fließt zu Beginn der Einspeisung ein Ladestrom  $i_L$  und bei Beendigung der Einspritzung ein Entladestrom  $i_E$ . Zwischen dem Fließen des Ladestroms  $i_L$  und dem Fließen des Entladestroms  $i_E$ , d. h. während der Einspritzung, fließt kein Strom.

[0078] Demgegenüber zeigen Fig. 7 und 8, daß bei einem Magnetventil während der gesamten Dauer der Einspritzung ein Strom  $i_M$  fließt. Dabei kann vorgesehen sein, daß der Strom  $i_M$  durch das Magnetventil um einen konstanten Mittelwert  $I_M$  schwankt, wie in Fig. 7 gezeigt, oder daß der Strom  $i_M$  durch das Magnetventil zunächst um einen Mittelwert  $I_{M1}$  und dann um einen Mittelwert  $I_{M2}$  schwankt, wie in Fig. 8 gezeigt.

[0079] Fig. 9 zeigt die Bereiche möglicher Anfänge einer Einspritzung mit angehängter maximal üblicher Einspritzdauer für das piezoelektrische Element **10** und das piezoelektrische Element **40**. Dies ist beispielhaft durch die Bezugszeichen **1000** und **1001** dargestellt. Dabei bezeichnet

Bezugszeichen **1000** der Bereich des möglichen Anfangs der Haupteinspritzung und Bezugszeichen **1001** die mögliche Dauer der Haupteinspritzung in den Zylinder, der durch das piezoelektrische Element **10** angesteuert wird. Es sind zwei Voreinspritzungen **VE1** und **VE2**, eine Haupteinspritzung **HE** und eine Nacheinspritzung **NE** vorgesehen. Die Zeitpunkte des möglichen Beginns einer Einspritzung sowie die angehängte maximale mögliche Einspritzdauer sind über dem Kurbelwellenwinkel  $\phi$  aufgetragen. Wie aus Fig. 9 ersichtlich ist, können Konflikte bei der Ansteuerung der piezoelektrischen Elemente **10** und **40** entstehen, beispielsweise bei  $20^\circ$ ,  $100^\circ$  oder  $260^\circ$ . Weiterhin ist ersichtlich, daß Konflikte bei der Ansteuerung der piezoelektrischen Elemente entstehen können, wenn die piezoelektrischen Elemente auf der gleichen Aktorbank angeordnet sind.

[0080] Die beschriebenen Konfliktsituationen werden vorteilhafterweise dadurch gelöst, daß den Einspritzungen unterschiedliche Prioritäten zugeordnet werden. Dabei hat eine Haupteinspritzung **HE** eine höhere Priorität als eine Voreinspritzung **VE** und eine Nacheinspritzung **NE**. Eine Voreinspritzung **VE** hat in der Regel eine höhere Priorität als eine Nacheinspritzung **NE**. Bei zwei Voreinspritzungen **VE1** und **VE2** hat die eine Voreinspritzung **VE1** eine andere Priorität als die anderen Voreinspritzung **VE2**. Kommt es zu einem Konflikt zwischen zwei Einspritzungen, ist in vorteilhafter Ausgestaltung die Einspritzung mit der niedrigeren Priorität zu verschieben. Im Beispiel aus Fig. 9 wäre beispielsweise bei einem Konflikt zwischen der Voreinspritzung **VE1** des Zylinders, der durch das piezoelektrische Element **10** angesteuert wird und der Nacheinspritzung des Zylinders, der durch das piezoelektrische Element **40** angesteuert wird, die Nacheinspritzung **NE** für den Zylinder, der durch das piezoelektrische Element **40** angesteuert wird, zu verschieben. Wird eine Einspritzung verschoben, so wird die Einspritzdauer möglichst konstant gehalten. Ggf. kann die Einspritzdauer verkürzt, jedoch nicht verlängert werden. Bei einer Verschiebung wird der Beginn der Einspritzung in vorteilhafter Weise nicht vorverlegt, sondern nur verzögert. Bei einer Verzögerung der Voreinspritzung **VE2** ist es vorteilhaft, auch die Voreinspritzung **VE1** zu verschieben. Dabei wird die Voreinspritzung **VE1** vorteilhafterweise derart verschoben, daß das Verhältnis der zeitlichen Abstände den Voreinspritzungen **VE1**, **VE2** und der Haupteinspritzung **HE** konstant bleibt.

[0081] Beim Konflikt bei der Ansteuerung von piezoelektrischen Elementen einer Aktorbank oder bei einem Konflikt bei der Ansteuerung von Magnetventilen ist es vorteilhaft, die Einspritzung mit der niedrigeren Priorität zu verschieben. Dabei kann es vorgesehen sein, in einem derartigen Fall eine Fehlermeldung abzuspeichern. Bei häufigem Auftreten von Konflikten ist es generell vorteilhaft, entsprechende Fehlermeldungen in einem Fehlerspeicher zu hinterlegen.

[0082] Fig. 10 zeigt ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel eines Ablaufplans, der ein derartiges Konfliktmanagement durchführt. Ein solcher Ablaufplan ist vorteilhafterweise auf einer Einspritzregelung **F** insbesondere auch dem Steuerrechner **D**, implementiert. Dabei bezeichnet Bezugszeichen **1010** den Anfang des Ablaufs. Der Ablauf beginnt mit einer Abfrage **1011**, ob ein Konflikt zwischen den Einspritzungen verschiedener piezoelektrischer Elemente vorliegt. Liegt kein Konflikt vor, folgt ein Schritt **1012**, in dem eine entsprechende Einspritzung durchgeführt wird. Der Ablauf wird anschließend beendet. Das Ende des Ablaufs ist mit Bezugszeichen **1013** bezeichnet. Liegt ein Konflikt vor, so folgt der Abfrage **1011** eine Abfrage **1014**, in der abgefragt wird, ob der Konflikt zwischen piezoelektrischen Elementen einer Aktorbank bzw. zwischen piezoelektrischen Elementen, die zumindest auf einer Seite im Wesentlichen direkt



miteinander elektrisch verbunden sind, besteht. Besteht ein Konflikt zwischen piezoelektrischen Elementen einer Aktorbank bzw. zwischen piezoelektrischen Elementen, die zumindest auf einer Seite im Wesentlichen direkt miteinander elektrisch verbunden sind, so folgt ein Schritt 1015, in dem die Einspritzdauer der Einspritzung mit der geringeren Priorität verkürzt wird. Eine derartige Verkürzung umfaßt auch eine Verkürzung bis zu einer Dauer 0, d. h. der Streichung der entsprechenden Einspritzung. Dem Schritt 1015 folgt die Abfrage 1011.

[0083] Liegt dagegen kein Konflikt zwischen piezoelektrischen Elementen einer Aktorbank bzw. zwischen piezoelektrischen Elementen, die zumindest auf einer Seite im Wesentlichen direkt miteinander elektrisch verbunden sind, sondern ein Konflikt zwischen piezoelektrischen Elementen verschiedener Aktorbänke bzw. piezoelektrischen Elementen, denen eine einzige Versorgungseinheit zum Laden oder Entladen zugeordnet ist, vor, so folgt der Abfrage 1014 ein Schritt 1016. Im Schritt 1016 wird die Einspritzung mit der geringeren Priorität verzögert, ihre Länge bleibt jedoch konstant. Dem Schritt 1016 folgt eine Abfrage 1017 bei der abgefragt wird, ob ein Konflikt vorliegt. Liegt immer noch ein Konflikt vor, so wird die Dauer der Einspritzung mit der geringeren Priorität verkürzt. Dem Schritt 1018 folgt eine Abfrage 1019. Ergibt die Abfrage 1017, daß kein Konflikt mehr vorliegt, so folgt direkt die Abfrage 1019. Mit der Abfrage 1019 wird abgefragt, ob die Voreinspritzung VE2 verschoben worden ist. Ist dies der Fall, so wird in einem Schritt 1020 auch die Voreinspritzung VE1 verzögert und zwar derart, daß das ursprüngliche Abstandsverhältnis zwischen den Voreinspritzungen VE1 und VE2 und der Haupteinspritzung HE gewahrt bleibt. Dem Schritt 1020 folgt die Abfrage 1011. Ist die Voreinspritzung VE1 nicht verschoben worden, so folgt der Abfrage 1019 die Abfrage 1011.

#### Patentansprüche

1. Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor, insbesondere einen Dieselmotor, mit zumindest zwei Zylindern, wobei die Kraftstoffeinspritzanlage zumindest zwei Aktorelemente aufweist, und wobei jedem Zylinder zumindest je ein Aktorelement zur Einspritzung von Kraftstoff in den Zylinder zugeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Kraftstoffeinspritzanlage eine Einspritzregelung zur Überwachung und/oder zum Lösen eines Konfliktes beim Ansteuern der Aktorelemente aufweist.
2. Kraftstoffeinspritzanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Aktorelemente piezoelektrische Elemente sind.
3. Kraftstoffeinspritzanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Aktorelemente Magnetventile sind.
4. Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor, insbesondere einen Dieselmotor, mit zumindest zwei Zylindern, wobei die Kraftstoffeinspritzanlage zumindest zwei piezoelektrische Elemente aufweist und jedem Zylinder zumindest je ein piezoelektrisches Element zur Einspritzung von Kraftstoff in den Zylinder durch Laden oder Entladen des piezoelektrischen Elementes zugeordnet ist, und wobei die piezoelektrischen Elemente auf zumindest einer Seite im wesentlichen direkt miteinander elektrisch verbunden sind **dadurch gekennzeichnet**, daß die Kraftstoffeinspritzanlage eine Einspritzregelung zur Überwachung, ob ein piezoelektrisches Element geladen ist, wenn das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll, aufweist.

5. Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor, insbesondere einen Dieselmotor, mit zumindest zwei Zylindern, wobei die Kraftstoffeinspritzanlage zumindest zwei piezoelektrische Elemente aufweist und jedem Zylinder zumindest je ein piezoelektrisches Element zur Einspritzung von Kraftstoff in den Zylinder durch Laden oder Entladen des piezoelektrischen Elementes zugeordnet ist, und wobei den piezoelektrischen Elementen eine einzige Versorgungseinheit zum Laden oder Entladen des piezoelektrischen Elementes zugeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Kraftstoffeinspritzanlage eine Einspritzregelung zur Überwachung einer möglichen Überschneidung eines Zeitintervalls, in dem ein piezoelektrisches Element geladen oder entladen werden soll, mit einem Zeitintervall, in dem das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll, aufweist.

6. Kraftstoffeinspritzanlage nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Einspritzregelung überwacht, ob ein piezoelektrisches Element geladen ist, wenn das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll, wenn die piezoelektrischen Elemente auf zumindest einer Seite im Wesentlichen direkt miteinander verbunden sind.

7. Kraftstoffeinspritzanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Einspritzung von Kraftstoff in einem Einspritzzyklus durch zumindest zwei Einspritzungen erfolgt, **dadurch gekennzeichnet**, daß den zumindest zwei Einspritzungen unterschiedliche Prioritäten zugeordnet sind.

8. Kraftstoffeinspritzanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Einspritzung von Kraftstoff durch eine Haupteinspritzung und zumindest eine der Haupteinspritzung vorhergehende Voreinspritzung erfolgt, wobei mittels der Haupteinspritzung mehr Kraftstoff in den Zylinder eingespritzt wird als mit der Voreinspritzung, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Haupteinspritzung eine höhere Priorität als der Voreinspritzung zugeordnet ist.

9. Kraftstoffeinspritzanlage nach Anspruch 8, wobei die Einspritzung von Kraftstoff durch eine Haupteinspritzung und zwei der Haupteinspritzung vorhergehende Voreinspritzungen, erfolgt, **dadurch gekennzeichnet**, daß den Voreinspritzungen unterschiedliche Prioritäten zugeordnet werden.

10. Kraftstoffeinspritzanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Einspritzung von Kraftstoff durch zumindest eine Haupteinspritzung und eine der Haupteinspritzung folgende Nacheinspritzung erfolgt, wobei mittels der Haupteinspritzung mehr Kraftstoff in den Zylinder eingespritzt wird als mit der Nacheinspritzung, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Haupteinspritzung eine höhere Priorität als der Nacheinspritzung zugeordnet ist.

11. Kraftstoffeinspritzanlage nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Voreinspritzung eine andere Priorität als der Nacheinspritzung zugeordnet ist.

12. Kraftstoffeinspritzanlage nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einspritzregelung die Einspritzung mit der geringeren Priorität soweit verkürzt, daß ein piezoelektrisches Element nicht geladen ist, wenn das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll, oder daß kein Strom durch ein Magnetventil fließt, solange Strom durch das andere Magnetventil fließt.

13. Kraftstoffeinspritzanlage nach einem der Ansprüche 7 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Ein-



spritzregelung die Einspritzung mit der geringeren Priorität soweit verschiebt, daß sich das Zeitintervall, in dem ein piezoelektrisches Element ge- oder entladen werden soll, nicht mit dem Zeitintervall überschneidet, in dem das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll. 5

14. Kraftstoffeinspritzanlage nach einem der Ansprüche 7 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Einspritzregelung die Einspritzung mit der geringeren Priorität soweit verzögert, daß sich das Zeitintervall, in dem ein piezoelektrisches Element ge- oder entladen werden soll, nicht mit dem Zeitintervall überschneidet, in dem das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll. 10

15. Kraftstoffeinspritzanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Einspritzregelung die Einspritzung mit der geringeren Priorität soweit verkürzt, daß sich das Zeitintervall, in dem ein piezoelektrisches Element ge- oder entladen werden soll, nicht mit dem Zeitintervall überschneidet, in dem das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll. 15 20

16. Kraftstoffeinspritzanlage nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Einspritzregelung die frühere Voreinspritzung um die gleiche Zeit verzögert wie die spätere Voreinspritzung. 25

17. Verfahren zum Betrieb einer Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor mit zumindest zwei Zylindern, insbesondere zum Betrieb einer Kraftstoffeinspritzanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Kraftstoffeinspritzanlage zumindest zwei Aktorelemente aufweist, und wobei jedem Zylinder zumindest je ein Aktorelement zur Einspritzung von Kraftstoff in den Zylinder zugeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, daß mögliche Konflikte beim Ansteuern der Aktorelemente überwacht und/oder gelöst werden. 30 35

18. Verfahren zum Betrieb einer Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor mit zumindest zwei Zylindern, insbesondere für eine Kraftstoffeinspritzanlage nach einem der Ansprüche 4 und 6 bis 15, wobei die Kraftstoffeinspritzanlage zumindest zwei piezoelektrische Elemente aufweist und jedem Zylinder zumindest je ein piezoelektrisches Element zur Einspritzung von Kraftstoff in den Zylinder durch Laden oder Entladen des piezoelektrischen Elementes zugeordnet ist, und wobei die piezoelektrischen Elemente auf zumindest einer Seite im wesentlichen direkt miteinander elektrisch verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, daß überwacht wird, ob ein piezoelektrisches Element geladen ist, wenn das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll. 40 45 50

19. Verfahren zum Betrieb einer Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor mit zumindest zwei Zylindern, insbesondere zum Betrieb einer Kraftstoffeinspritzanlage nach einem der Ansprüche 5 bis 15, wobei die Kraftstoffeinspritzanlage zumindest zwei piezoelektrische Elemente aufweist und jedem Zylinder zumindest je ein piezoelektrisches Element zur Einspritzung von Kraftstoff in den Zylinder durch Laden oder Entladen des piezoelektrischen Elementes zugeordnet ist, und wobei den piezoelektrischen Elementen eine einzige Versorgungseinheit zum Laden oder Entladen des piezoelektrischen Elementes zugeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, daß überwacht wird, ob eine Überschneidung eines Zeitintervalls, in dem ein piezoelektrisches Element ge- oder entladen werden soll, mit einem Zeitintervall, in dem das andere piezo- 55 60 65

elektrische Element ge- oder entladen werden soll, auftritt.

---

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

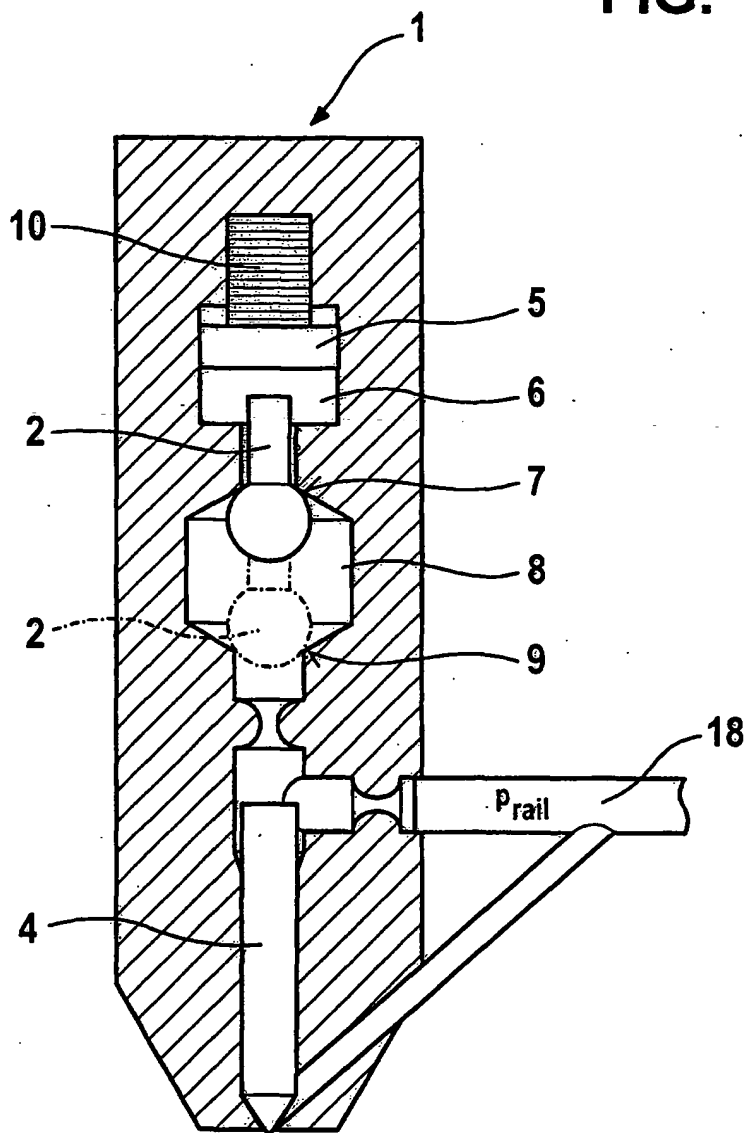
---



- Leerseite -



FIG. 1



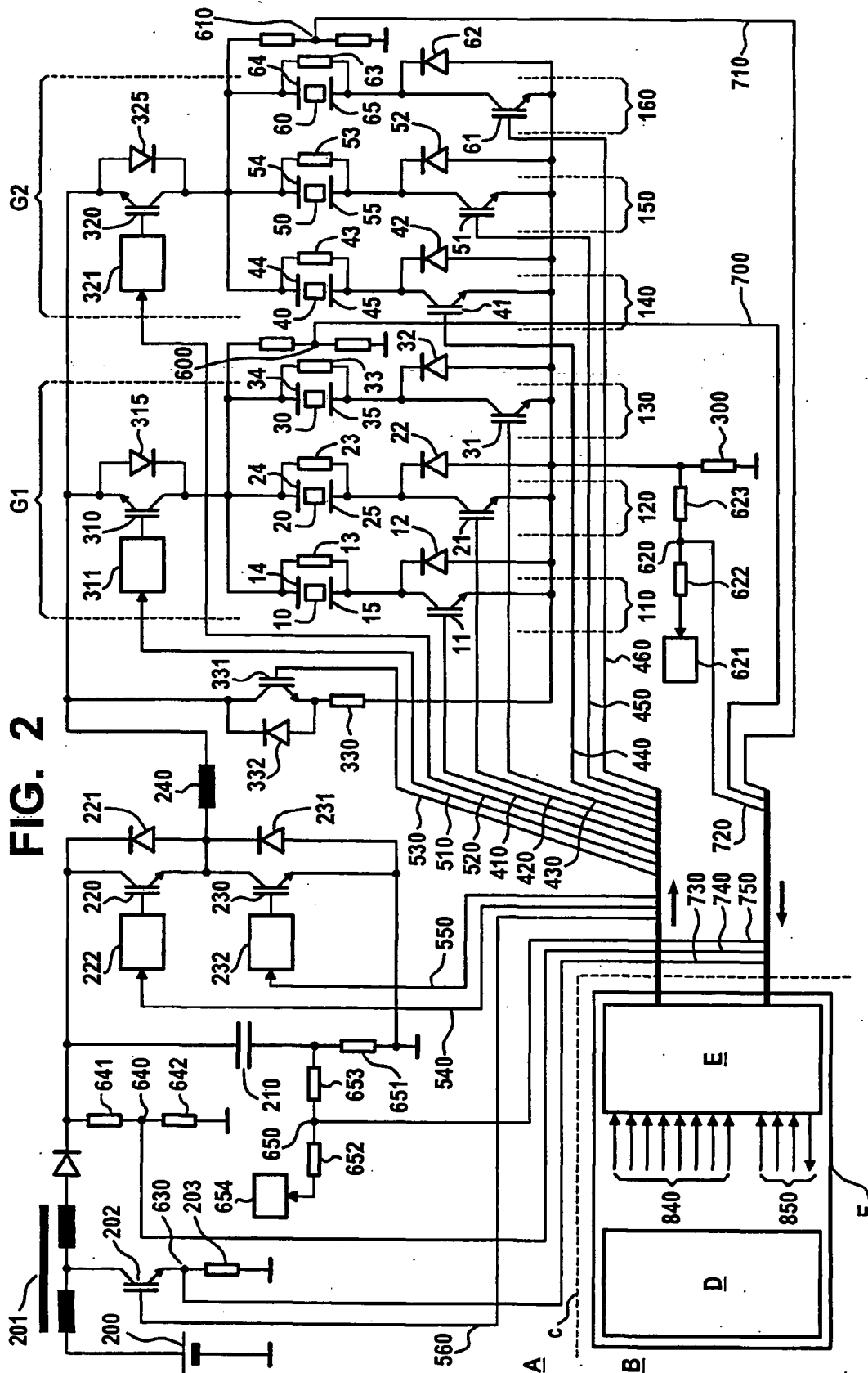


FIG. 3A

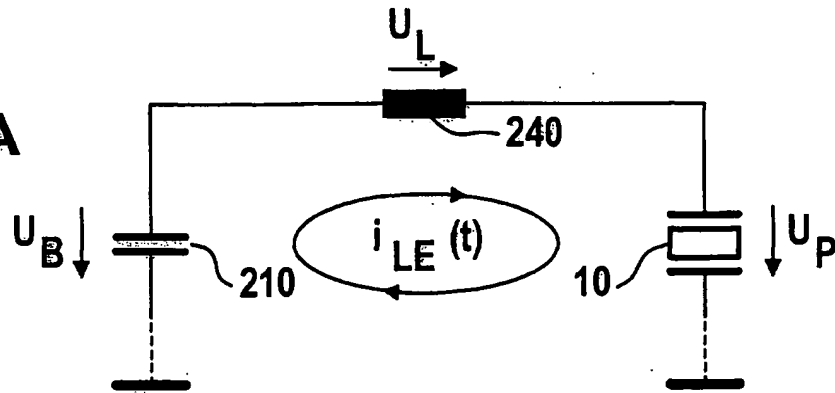


FIG. 3B

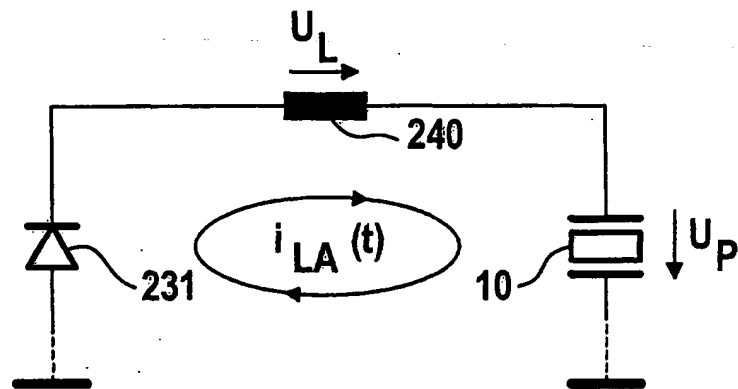


FIG. 3C

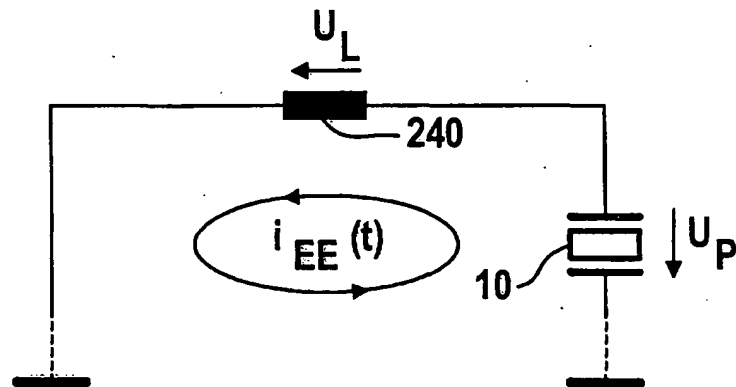
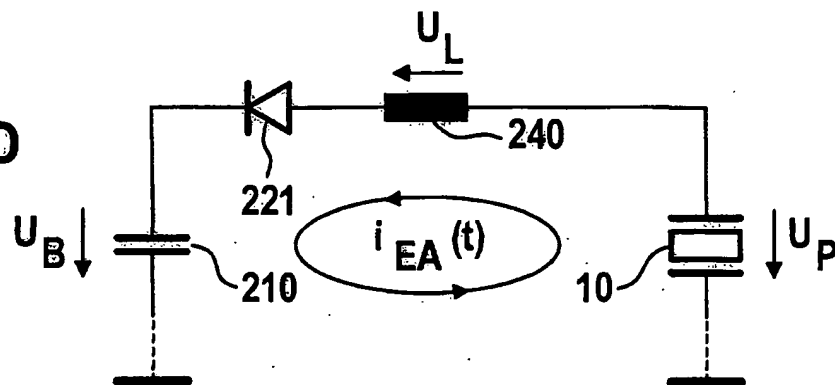


FIG. 3D



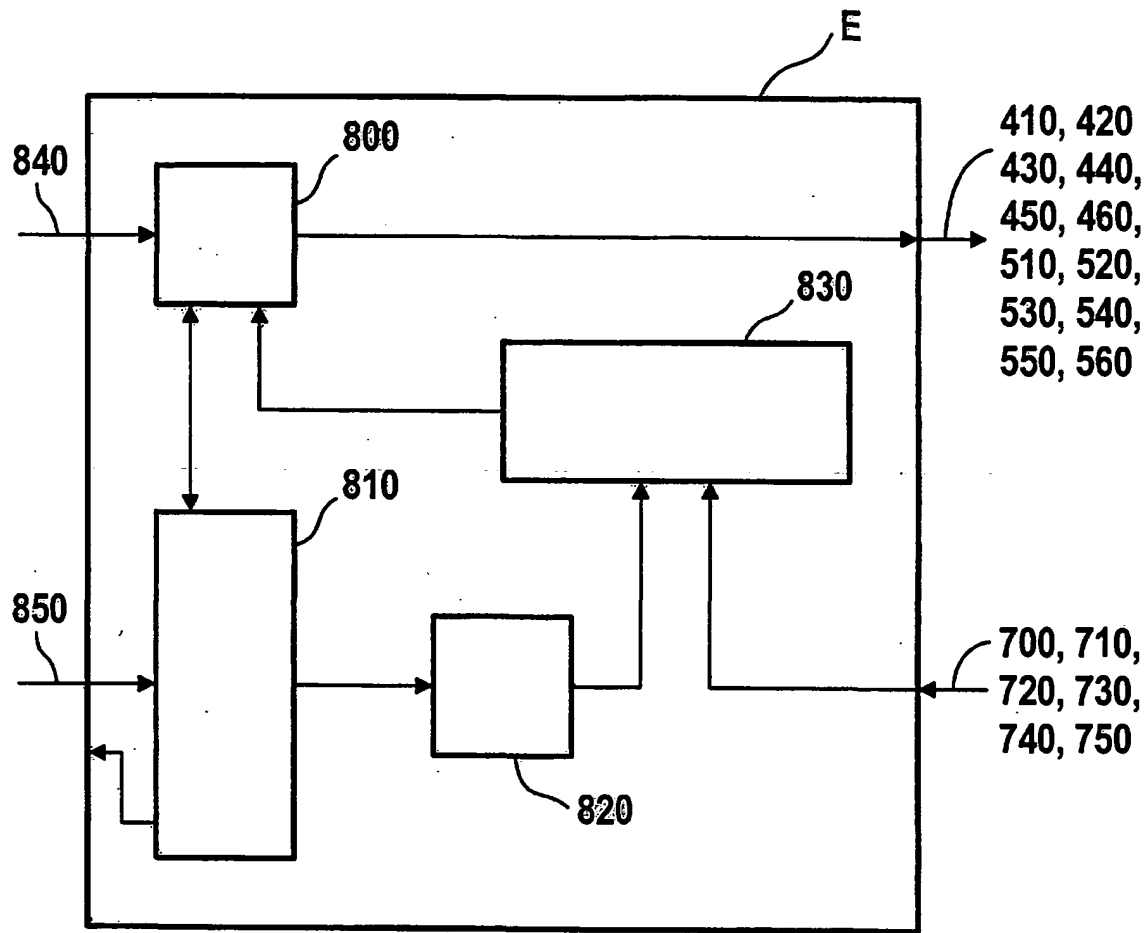


FIG. 4



FIG. 5

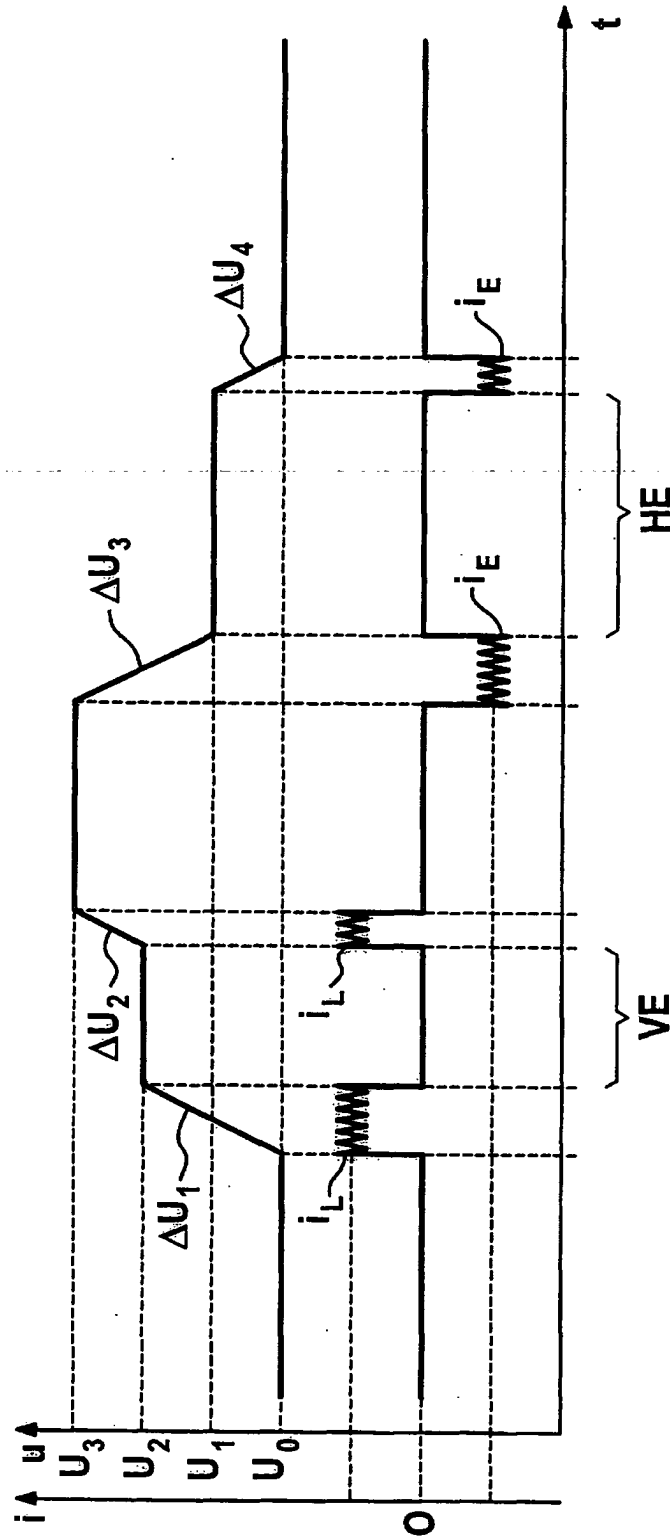


FIG. 6

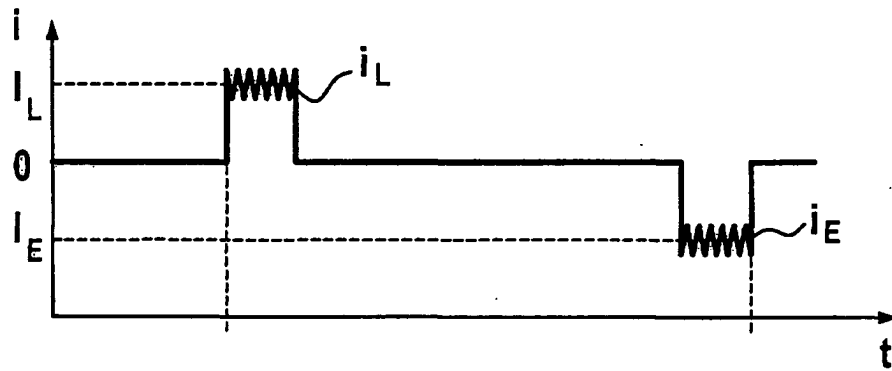


FIG. 7

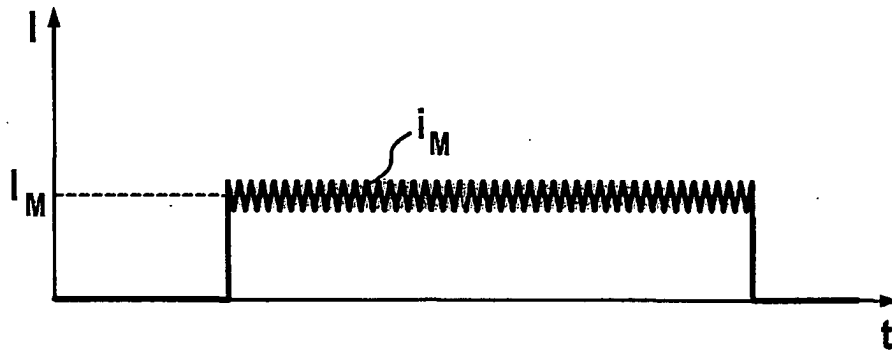
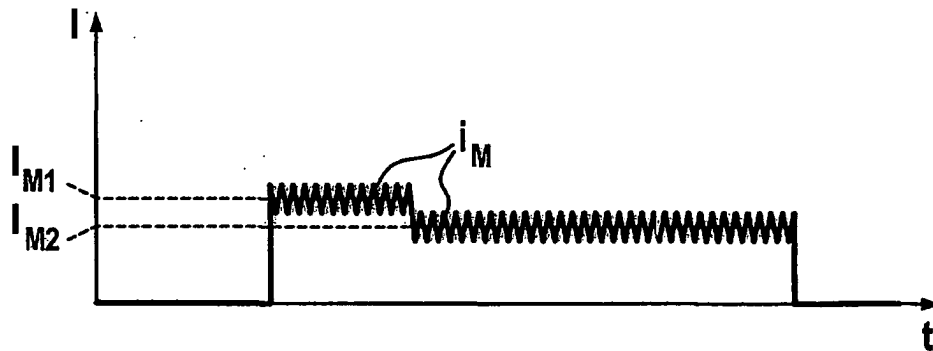


FIG. 8



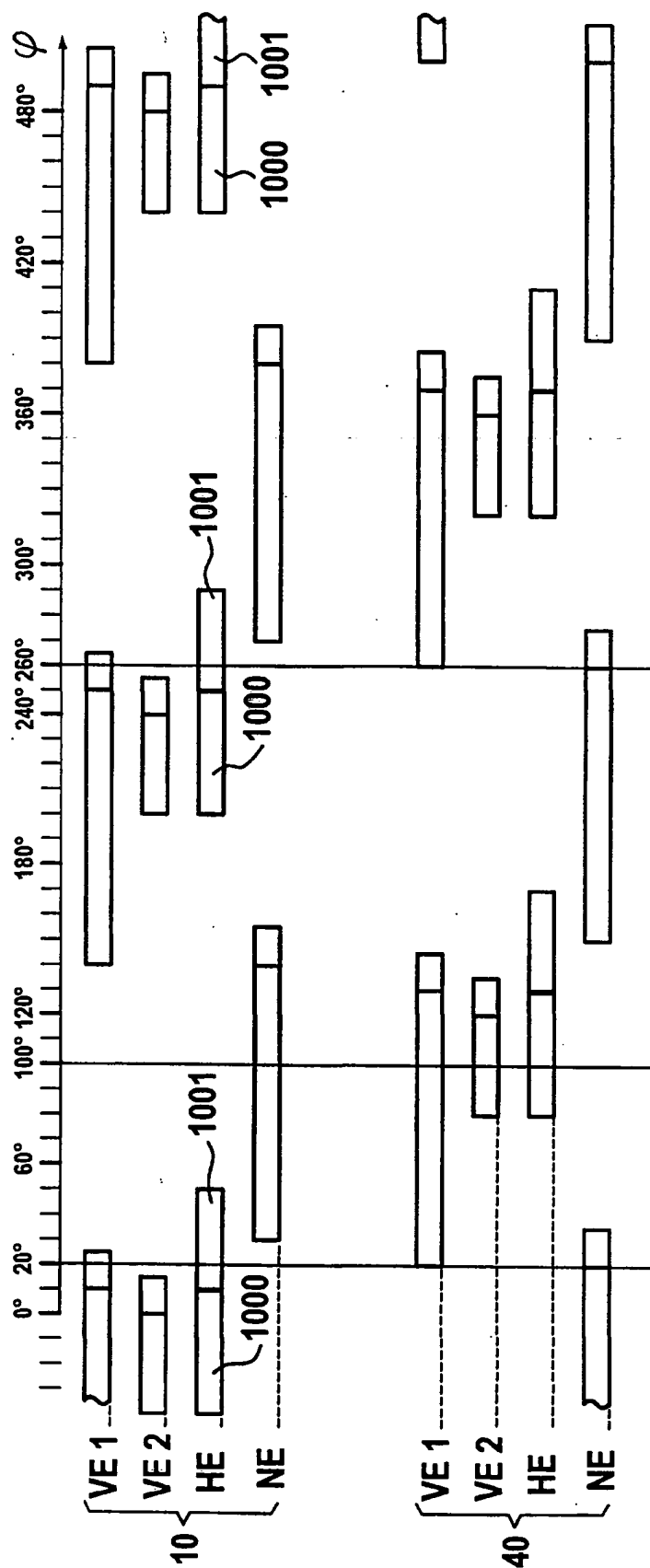


FIG. 9

FIG. 10

